筆者が技術コンサルタントとして多くの企業で経験した問答を紹介する連載の第２回である．今回は，データのねつ造の話題から，シミュレーション結果と実際の製造物の違いについて考える．（編集部）

先輩：旧石器時代の遺物は，神の手とまで呼ばれた研究家のねつ造だった．発掘番組にもデータのねつ造はつきものらしい．

新人：学生時代の電気工学実験では，レポート提出時間が迫ると，ついデータをねつ造してしまいました（反省）．

● 疑惑の真相

測定結果をねつ造しても，見る人が見れば分かってしまうよ．**図1**(**a**)のようなバンドパス・フィルタを測定して**図1**(**b**)のような結果が得られたと報告があった．さてこれを即座にあやしいと見破った人は，いったい何を根拠に疑ったのだろうか．

でも教科書にはこのようなグラフが載っていますから，特に問題はないと思います．念のために二つの異なる電磁界シミュレータで確かめましたが，ほとんど同じ結果が得られました(**図2**)．それどころか回路シミュレータでも近い結果が得られました(**図3**)．データねつ造の余地なんてありませんよ．

● 正確すぎるから正しくない

実は，データをねつ造する以前に，ほんとうに試作をして測定したのかを疑ったのだ．**図4**は中心周波数や帯域幅がほとんど同じだが，リターン・ロス(S_{11})のW字形の溝がかなり浅い．

いったい何が違うのですか．

これは線路や金属ケースを銅に，誘電体のtan δを設定したときの電磁界シミュレーション結果だ．一

(**a**) モデル

(**b**) Sパラメータ

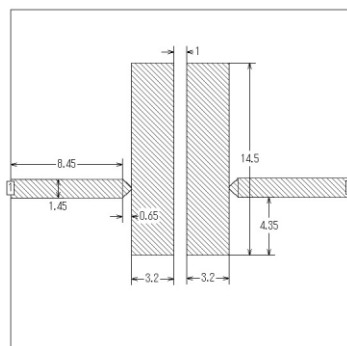
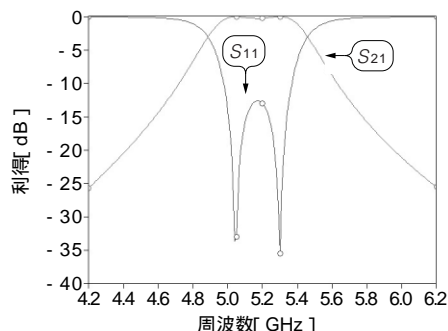
図1
Sonnetによるバンドパス・フィルタのシミュレーション
(a)はモデルで，図中の数値は寸法(mm)．基板(25.6mm×25.6mm)は，誘電体厚＝0.8mm，比誘電率＝4.5，tan δ＝0，金属はすべて無損失(理想導体)として，高さ20mmの金属箱に収めた．(b)はシミュレーション結果で，S_{11}(反射係数)とS_{21}(伝達係数)を示す．Sonnetについては，http://www.sonnetsoftware.co.jp/およびhttp://www.sonnetsoftware.com/を参照．

KeyWord Sonnet，バンドパス・フィルタ，リターン・ロス，誤差

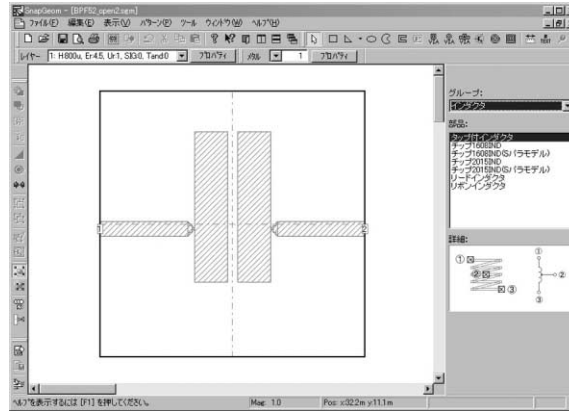
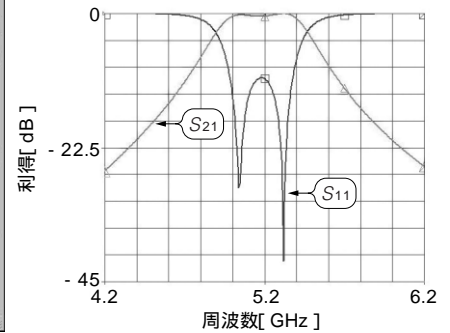
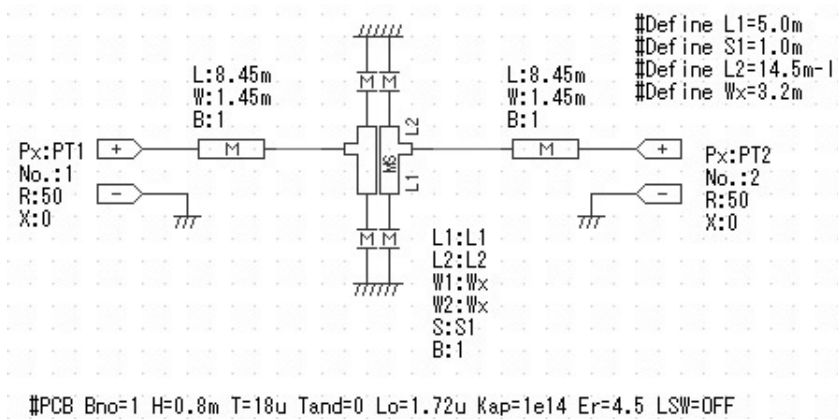
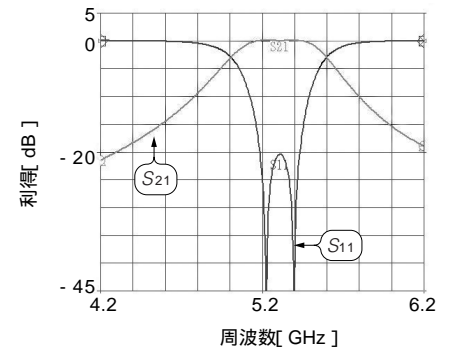
図2
S-NAP Fieldによるバンドパス・フィルタのシミュレーション
(a)は図1と同じ条件のモデル．(b)はシミュレーション結果で，S_{11}(反射係数)とS_{21}(伝達係数)を示す．

(**a**) モデル

(**b**) *S*パラメータ

(**a**) モデル

(**b**) *S*パラメータ

図3　S-NAP Proによるバンドパス・フィルタのシミュレーション

(a)は等価回路のモデル．線路部は「マイクロストリップ」，中央の結合部は「タップ付き2ラインカップル」の素子を使っている．四つの「マイクロストリップラインオープンエンド」は，開放端に生じるフリンジング効果(開放端付近の電磁界が均一にならないことで生じる影響)を等価的に表している．(b)はシミュレーション結果で，S_{11}(反射係数)とS_{21}(伝達係数)を示す．S-NAP Microwave Suitesについては，http://www.melinc.co.jp/を参照．

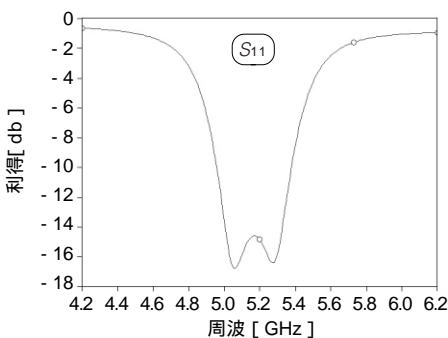



図4　損失を含んだバンドパス・フィルタのSパラメータ

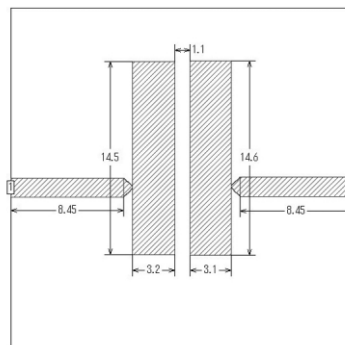
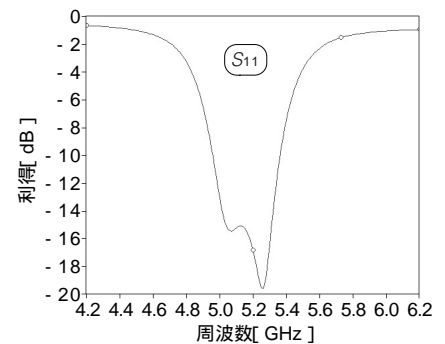
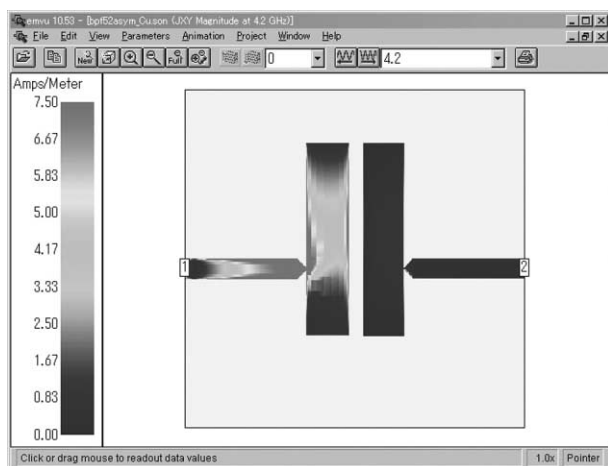
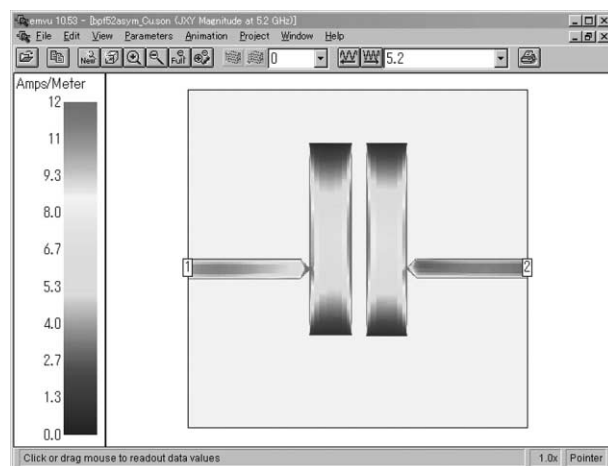
Sonnetによるシミュレーション結果．S_{11}(反射係数)を示す．

(**a**) モデル　(**b**) *S*パラメータ

図5　誤差を含んだバンドパス・フィルタ

(a)は左右の対称をはずしたモデルで，図中の数値は寸法(mm)．(b)はシミュレーション結果で，S_{11}(反射係数)を示す．

コラム バンドパス・フィルタについて

図Aは，本文で示した**図5**のモデルをSonnetでシミュレーションした表面電流分布です．バンドパス・フィルタの動作をしていない周波数4.2GHzでは，ほとんど右側の出力（ポート2）に電流が流れていないことが分かります．一方，5.2GHzでは中央の結合線路を介して，出力側にも強い電流が流れています．結合部の表面電流分布には1/2波長の定在波が認められ，この部分が共振することで電磁エネルギーがギャップを越えて出力側に伝わっています．

このような構造の共振器は，材料を無損失に設定すると，リターン・ロスのグラフがシャープになる傾向があり（**図1**や**図2**を参照），Qの高い共振ともいえます．

(**a**) 4.2GHz

(**b**) 5.2GHz

図A　バンドパス・フィルタの表面電流分布

(a) は4.2GHzにおける状態で，右側の出力（ポート2）には電流がほとんど流れていない．(b) は5.2GHzにおける状態で，結合部が共振することで電磁エネルギーがギャップを越えて出力側に伝わっている．

方，**図1**，**図2**，**図3**は，すべて無損失でシミュレーションした結果だ．現実の材料で測定すれば，おそらく**図4**に近いはずだ．さらに**図5**のように長方形の縦横に100μmの誤差がある場合の電磁界シミュレーション結果は，W字形の左が小さくなってVの字に近い．

つまり現実の測定結果は**図5**に近いはずだということですね．

CADツールで図形を入力すると，このような左右対称の回路は1μmの誤差もなく，完ぺきに対称な図形になっている．そしてその結果，リターン・ロスのグラフはきれいなW字形になった．一方実際の製造物は，左右の寸法に100μm程度の誤差はあり得る．このときW字形はくずれて，**図5**のようなV字形に近くなるはずだ．

完全な対称形で仕上がる確率は極めて低いということですね．

そのとおり．だからこのタイプのバンドパス・フィルタでは，ネットワーク・アナライザのリターン・ロス表示が教科書どおりになることはまずない．そこでピンときたというわけだ．

シミュレータが正確すぎるというのが災いした，と言うわけですね．

学生実験はねつ造がばれたら大変だ．社会人に落第はないが，データのねつ造は技術者倫理上問題がある．

常に結果を疑う姿勢が持てるかですね．

参考・引用*文献

(1) 西野治；電磁気計測，電気学会，1974年（19版）．
(2) 市川裕一；シミュレーションで始める高周波回路設計，CQ出版社，2005年（初版）．

こぐれ・ひろあき
小暮技術士事務所・技術士（情報工学部門）
http://www.kcejp.com/